Münster 1935 No 169 Med DiSS

Aus der Chirurgischen Klinik
der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster i. Westf.
Direktor: Prof. Dr. med. H. Coenen

Wann entsteht der Stückbruch und wie verläuft die Bruchlinie?

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung der medizinischen Doktorwürde der Hohen Medizinischen Fakultät der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster / Westf.

Vorgelegt von
Hermann Schulte
aus Warendorf i. Westf.

1935

Druckausführung Buchdruckerei Franz Grube, Werne a. d. Lippe

Dekan: Professor Dr. Klinge

Referent: Professor Dr. Walter

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster (Westf.)

Meinen lieben Eltern!

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41555428_0060

Bei Versuchen von Matti, Zuppinger und anderen über die sogen. Stückfraktur zeigte sich, daß diese Art der Fraktur nur bei Biegung des Knochens entsteht. Zur Biegung des Knochens ist eine gewisse Elastizität erforderlich, die hervorgerufen wird durch den Aufbau des Skeletteiles aus bindegewebiger, faseriger oder knorpeliger Grundsubstanz und den eingelagerten anorganischen Salzen. Aenderungen in dem Elastizitätsgrade des Knochens ergeben sich durch den dauernden Umbau, bei dem beständig anorganische Salze resorbiert und an derselben oder an anderer Stelle abgelagert werden. Ebenso trägt das zwischen dem eigentlichen Stützgewebe verteilte Knochenmark zur Elastizität des Knochens bei. Doch für die Frakturlinie ist der Elastizitätsgrad der Compacta allein bestimmend und der ist gering. Infolge seiner Elastizität kann die Gestalt des Knochens durch Einwirkung äußerer Kräfte verändert werden. Dabei entstehen im Innern des Knochens Zuspannungen, die bestrebt sind, die Moleküle von einander zu reißen, und Druckspannungen, die bestrebt sind, die Moleküle gegen einander zu drücken. Die Moleküle erfahren dabei Aenderungen in ihrer gegenseitigen Lagerung. Geht die deformierende Wirkung nicht über die Elastizitätsgrenze hinaus, so kehren die Moleküle nach Aufhören der Krafteinwirkung ganz oder teilweise wieder in ihre ursprüngliche Lage zurück, und der Knochen nimmt wieder seine ursprüngliche Form an. Wird der Knochen über seine Elastizitätsgrenze hinaus belastet bis eine Kontinuitätstrennung eintritt, so ist seine Festigkeitsgrenze erreicht und überschritten. Unter Festigkeit verstehen wir also den Widerstand, welchen ein Knochen der gänzlichen Trennung seiner Moleküle entgegen zu setzen vermag. Die Festigkeit des Knochens ist von verschiedenen Faktoren abhängig: sowohl von der Dicke des betreffenden Knochenteiles als auch von seiner Struktur, die an den einzelnen Knochen und Knochenteilen durchaus verschieden ist. Auch mit dem Lebensalter, ändert sich die Festigkeit: Knochen von Kindern sind trotz

ihrer größeren Biegungsmöglichkeit leichter zu brechen als die von Erwachsenen, während in höherem Alter die Brüchigkeit der Knochen wieder zunimmt; ebenso steigern Erkrankungen des Knochens wie Rachitis, Osteomalazie u. a. die Brüchigkeit in hohem Maße. Unter normalen Verhältnissen ist die Festigkeit des Knochens so groß, daß sie der physiologischen Inanspruchnahme genügend Widerstand entgegen zu setzen vermögen. Also werden fast nur unter Einwirkung äußerer Kräfte die innerhalb der Elastizitätsgrenzen gelegenen Spannungen überschritten, durch Ueberschreiten der Festigkeitsgrenze die Moleküle aus ihrem Zusammenhange gerissen, der Knochen frakturiert. Wann entsteht nun die sogen. Stückfraktur, eine Fraktur, bei welcher der Knochen so in seiner Kontinuität getrennt wird, daß bei Biegung an der konkaven Seite ein Stück herausspringt, das die Gestalt eines Rhombus hat und das im Röntgenbilde dreieckig erscheint? Wie verläuft die Bruchlinie?

Zur Untersuchung dieser Fragen baute ich einen Apparat, mit dem es mir möglich war, Knochen zu biegen und zu brechen unter verschiedener Richtung der einwirkenden Kräfte.

Der Apparat hat folgendes Aussehen: (Figur 1, 2, 3.)

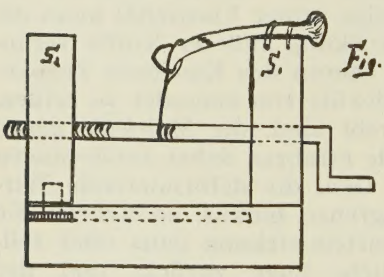


Fig. 1.

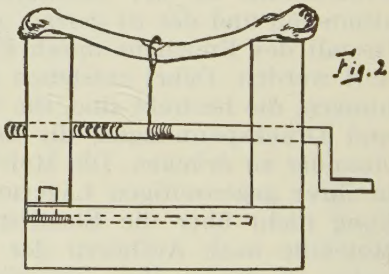


Fig. 2.

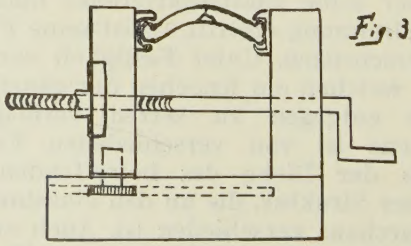


Fig. 3.

Auf einem festen Brette stehen zwei Säulen (S 1 und S 2). Säule S 1 ist fest mit dem Brette verbunden, Säule S 2 in einer Schiene beweglich. Durch die Mitte der Säulen läuft eine Stahlachse mit einer Kurbel. Die Achse hat am freien Ende ein Gewinde. Durch Anschluß einer Flügelschraube an das Gewinde um S 2 nähert sich diese S 1 bei Drehen der Kurbel. Bei Fortlassen der Flügelschraube stehen beide Säulen fest; doch kann ein über beide Säulen gelegter Knochen durch ein Drahtseil, das sich bei Drehen der Kurbel um die Achse aufrollt, gebogen und gebrochen werden.

Mit Hilfe dieses Apparates ist es möglich, Knochen in den drei Arten, die man nach Zahl und Richtung der einwirkenden Kräfte unterscheiden kann, durch Biegung zu brechen.

I. Der Knochen ist einseitig in B fixiert. Die Kraft wirkt auf das freie Ende in C ein.

II. Der Knochen hat in B und C zwei Unterstützungspunkte und die Kraft wirkt in der Mitte in A auf den Knochen ein.

III. Der schon gebogene Knochen wird von zwei entgegengesetzt gerichteten Kräften noch weiter gebogen und gebrochen.

Versuche mit meinem Apparate zu I:

Der Knochen wird auf S 1 gelegt, das eine Ende B auf S 1 befestigt. Um das andere Ende C wird ein feines Drahtseil gelegt, das sich um die Achse schlingt, sich durch Drehen der Kurbel strafft, den Knochen biegt und bricht.

Zu II:

Der Knochen wird mit seinen Enden B und C auf S 1 und S 2 gelegt. Das Drahtseil in A biegt den Knochen in der Mitte und bricht ihn.

Zu III:

Der schon gebogene Knochen wird zwischen S 1 und S 2 geklemmt. Durch Anlegen der Flügelschraube an das Gewinde um S 2 nähert sich diese S 1 bei Kurbeldrehung. Der Knochen wird zwischen S 1 und S 2 noch mehr gebogen und frakturiert.

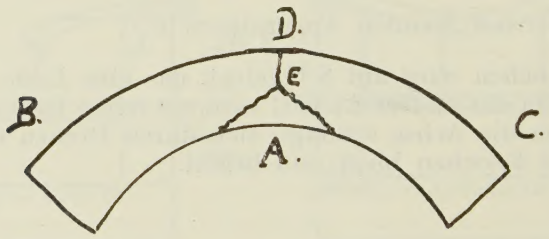
Zu meinen Versuchen benutzte ich einige Röhrenknochen und Rippen von Menschen und frische Hasen- und Kaninchenknochen. Für Fall III eigneten sich besonders gut die Rippen und leicht gebogenen Femora.

Bei Versuchen zu Fall I erhielt ich nie eine Stückfraktur, dagegen bei Versuchen zu II und III fast immer, abgesehen von einigen Versuchen mit Knochen, die ich bei Ausschachtungsarbeiten gefunden hatte, und einigen Hasenknochen, die von sehr alten Tieren stammen mußten.

Nach Matti, Zuppinger u. a. kommt es wegen einer bestimmten Einwirkung von Zugspannungen bei Fall I zu einer Schrägfraktur, was meine Versuche bestätigten.

Die Bruchlinie bei Fall II und III zeigte kurz folgenden Verlauf: Ein querer Bruchspalt von D senkrecht zur Längsachse bis zur Mitte in E (oder fast bis zur Mitte), dann zwei Bruchlinien an der konkaven Seite, die ein dreieckiges Stück einschließen. (Siehe Figur 4).

Fig. 4.



Wie entsteht nun diese Bruchlinie? Ich möchte mich hierfür den Erklärungen Mattis anschließen, wenigstens was Richtung und Entstehungsursache angeht.

An der Stelle maximaler Biegung entstehen Zugspannungen, die die einzelnen Knochenteilchen von einander abzurücken suchen. An der konkaven Seite suchen sich die einzelnen Moleküle näher an einander zu schieben, es entstehen Druckspannungen. Gegen die Mitte zu nehmen Druck- und Zugspannungen ab; sodaß in der Mitte eine Längsebene liegt, in der sich Zug-

und Druckspannung aufheben, die wir deshalb als neutrale Schicht bezeichnen können. Die Moleküle an der konvexen Seite, die unter Zug- und die Moleküle an der konkaven Seite, die unter Druckspannung stehen, haben das Bestreben, gegen diese neutrale Schicht hin auszuweichen. Dadurch entsteht eine Abplattung des Querschnitts in Richtung der biegenden Kraft, und eine Verbreiterung in der darauf senkrechten Richtung. Infolgedessen tritt eine sekundäre Spannung in der Kortikalis des Knochens auf. Uebersteigt diese sekundäre Zugspannung die Festigkeit des Knochens, so würde eine Bruchlinie entstehen parallel der neutralen Schicht und senkrecht zur Richtung der biegenden Kraft.

Maßgebend für die Entstehung der Biegungsstückfraktur und die Richtung der Bruchlinie sind also folgende Spannungen:

I. Zugspannungen an der konvexen Seite des Knochens.

II. Druckspannungen an der konkaven Seite.

III. Sekundäre Zugspannungen in der Kortikalis.

Durch Einwirkung dieser Spannungen erklärt sich auch die Richtung der Bruchlinie:

An dem höchsten Punkte der Konvextität in D bewirken die Zugspannungen, falls sie die Festigkeit des Knochens überschreiten, einen Einriß bis E der neutralen Schicht. Die Linie D E ist die auf die Tangente in D an die Konvexität errichtete Senkrechte. An allen Punkten auf dieser Senkrechten greifen Zugspannungen an und bewirken eine Kontinuitätstrennung des Knochens. Die Rißlinie geht also von D nach E senkrecht. Unterhalb E beginnen die Druckspannungen. Die zusammengedrückten Moleküle verhindern eine Trennung des Knochens in der senkrechten Verlängerung von D E über E hinaus, da gerade hier die Druckspannung am größten ist, während sie nach beiden Enden des Knochens zu abnimmt. Die Bruchlinie muß also nach beiden Seiten abweichen. Auch die sekundären Zugspannungen, die für sich einen Riß in der Längsrichtung ergeben würden, wirken ablenkend auf die Bruchlinie ein; sodaß an der konkaven Seite ein von vorn gesehen dreieckiges Stück ausgesprengt wird, mit seiner Spitze in E und seiner Basis an der konkaven Seite des Knochens.

So die Theorie über die Richtung der Bruchlinie. Daß bei Versuchen natürlich Punkt E nicht immer genau in der Mitte liegt, läßt sich erklären aus der nicht an allen Stellen gleichen Zusammensetzung des Knochens.

Entsteht nun der Riß zuerst am Punkte D und verläuft dann langsam bis E, teilt sich hier und verläuft in zwei Schrägen weiter zur Konkavität des Knochens — oder aber entsteht die senkrechte Gewebstrennung von D nach E und die beiden schrägen Einrisse von E aus gleichzeitig?

Zuppinger spricht von einem Wandern der neutralen Schicht nach der konkaven Seite hin während des Fortschreitens des Bruches von der Konvexität gegen die Mitte des Querschnitts.

Magnus schreibt: Wenn dieser Riß — von D nach E — sich bei fortdauernder Gewalt nach der Konkavität zu fortsetzt, so trifft er auf die komprimierte Partie, die für ihn undurchdringlich ist, die er also umgehen muß.

Auch Matti schreibt, daß die neutrale Zone mit dem Fortschreiten des queren Einrisses nach der Konkavität zu wandert.

Bei dieser Annahme vom langsamen Fortschreiten des Risses kann es nie zur typischen Stückfraktur kommen.

Kurz gefaßt noch einmal die Richtung der Bruchlinie: Von D — Maximum der Zugspannungen — senkrecht nach E — neutrale Schicht —, von dort zur konkaven Seite als zwei schräge Risse.

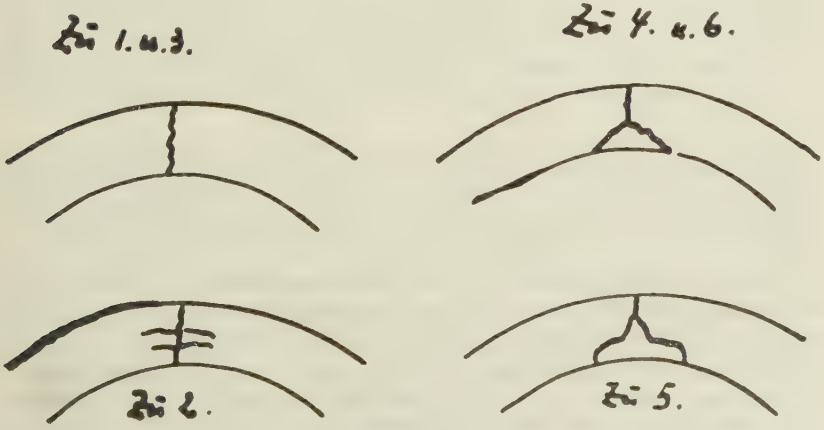
Würde nun vom Punkte D aus ein Einriß langsam erfolgen, so würde für einen Moment die Bruchlinie bis zum Punkte D 1 vorgerückt sein und dort stehen bleiben. Folglich wäre der Durchmesser des noch zu brechenden Knochens in diesem Moment um D D 1 verkürzt, und beim fortgesetzten Biegen würde auch der Punkt E — die neutrale Schicht — tiefer fallen nach E 1, da sich ja die Mitte des noch zu brechenden Knochens dann weiter in Richtung D E über E hinaus verschoben hätte. Man kann sich mehrere solcher Punkte D 2, D 3 und auch E 2, E 3 denken. Die Druckspannungen, ebenso auch die sekundären Zugspannungen an der Kortikalis würden auch mehr nach der konkaven Seite verlegt. Bei immer langsamen Fortschreiten

des Risses würde also, da die Bruchlinie von D nach E senkrecht erfolgt, beim Tiefertreten von E nach E 1, E 2 usw. eine Fraktur entstehen quer durch den ganzen Knochen. Folglich müssen, falls eine Stückfraktur entstehen soll, alle drei Spannungen im Augenblicke des Bruches erhalten und unverschiebbar sein. Nur ihr gemeinsames, augenblickliches Einwirken an allen Punkten der späteren Bruchlinie bewirken eine Kontinuitätstrennung des Knochens vom Typ einer Stückfraktur.

Bei meinen Versuchen ließen sich einige Menschenknochen, die ich bei Ausschachtungsarbeiten gefunden hatte, und einige Tierknochen von alten Hasen und Kaninchen kaum biegen und brachen bei stärkerem Drucke quer durch. Da die Richtung und Zahl der einwirkenden Kräfte dieselbe war, wie bei Erzielung von typischen Stückfrakturen bei anderen Knochen, lag sicher das Eintreten der Querfraktur an der Zusammensetzung des betreffenden Knochens, an seiner Elastizität und Festigkeit. Zur näheren Untersuchung machte ich mit anderem Material noch mehr Versuche.

Dabei zeigte sich Folgendes:

1. Rundes Radiergummi ließ sich leicht biegen, riß dann an dem höchsten Punkte der Konvexität beginnend langsam nach unten zur Konkavität hin quer durch.



2. Grüne Ruten, frisch getrieben von Haselnußstauden, ließen sich leicht biegen, oft sogar an der Konkavität zusammenlegen ohne zu brechen. Einige brachen quer durch, andere ältere Triebe zeigten öfter einen Längsriß zuerst und brachen dann doch noch oft quer durch.

3. Gegossene Gipszylinder ließen sich in noch nicht festem Zustande leicht biegen und brachen langsam quer durch. Feste im Backofen getrocknete Gipszylinder ließen sich nicht biegen und brachen plötzlich quer durch.

4. Zylinder aus Schreinerleim gegossen, bei denen ich vorher den Leim mit reichlich Wasserzusatz angewärmt und dann gegossen hatte, blieben tagelang leicht zu biegen und brachen langsam von der Konvexität zur Konkavität quer durch. Aus Leim, fast ohne Wasserzusatz angewärmt, ließen sich feste Stangen gießen. Beim Biegen dieser festen Stangen erhielt ich einige typische Stückfrakturen.

5. Glasstangen ließen sich etwas biegen und brachen in einer Form ähnlich der Stückfraktur.

6. Frische Knochen von jungen Hasen und Kaninchen, wie einige elastische Menschenknochen ergaben bei Biegung eine typische Stückfraktur. Knochen von Menschen, die lange in der Erde gelegen hatten, und einige Knochen von sehr alten Hasen ließen sich kaum biegen und brachen bei stärkerem Druck plötzlich quer durch. Einige Knochen von alten Hasen, die ich für 24 Stunden in eine dünne Lösung von Schwefelsäure gelegt hatte, brachen in Form der Stückfraktur; andere, die ich länger in der Lösung hatte liegen lassen, ließen sich oft zusammenbiegen und brachen dann oben anfangend langsam zur konkaven Seite hin quer durch.

Meine Versuche zeigten mir, daß es bei langsamen Fortschreiten des Bruches nicht zu einer typischen Stückfraktur kommt und daß eine geringe Elastizität, also Sprödigkeit, zum Zustandekommen einer Stückfraktur vorhanden sein muß.

Beim Radiergummi, bei den frischen Ruten, den noch weichen Gipszylindern, den leicht zu biegenden Leimstangen, den lange in der Lösung gelegenen alten Knochen erfolgt der Einriß in D eher als eine Kontinuitätstrennung durch sekundäre Zugspannung in E, da diese Spannung die Festigkeit des betreffenden Materials nicht überschreitet. Beim Tiefertreten der neutralen Zone mit dem Fortschreiten des Bruches tritt ebenfalls

kein Längsbruch auf, der Bruch verläuft durch den ganzen Knochen quer.

Bei den harten Gipszylindern und den senilen Knochen war ein Biegen kaum möglich. Infolgedessen tritt eine Querschnittsveränderung kaum ein; daher sind die zirkulären Zugspannungen an beiden Enden der neutralen Schicht relativ gering und deshalb besteht keine Veranlassung zum Einriß in der Längsrichtung. Daher, wegen Mangel an Elastizität, brechen senile Knochen quer durch.

Zum Zustandekommen einer typischen Stückfraktur ist also bestimmend die vorhandene doch geringe Elastizität des betreffenden Materials.

Beispiele für diese typische Stückfraktur an lebenden Menschenknochen sind garnicht so selten.

So brechen lange Röhrenknochen oft in typischer Form, wenn sie ein schwerer Gegenstand von der Seite trifft oder wenn sie hohl liegend überfahren werden. Solche Fälle kann man im Röntgenbilde leicht an der Richtung der Frakturlinien erkennen; denn diese ist ja so charakteristisch, daß man umgekehrt aus der Form des Bruches sichere Rückschlüsse auf die Auftreffstelle der Gewalt und Richtung derselben ziehen kann. Forensisch und für berufsgenossenschaftliche Begutachtung kan dies unter Umständen von Bedeutung sein. Merkwürdig ist, daß die Rippen bei Kompression des Thorax quer durchbrechen, während mehrere elastische Rippen von Menschen bei meinen Versuchen eine typische Stückfraktur ergaben.

Für die Heilung der Knochenbrüche ist auch die Mitbeteiligung der Knochenhaut bei der Fraktur von Bedeutung, da die Callusbildung hauptsächlich vom Periost ausgeht, vorausgesetzt, daß es nicht durch Zerreißung oder Loslösung von den Weichteilen seiner Ernährung und Regenerationskraft beraubt ist. Man hatte bei Schaftbrüchen schon früher an die Erhaltung der Knochenhaut gedacht, wenn der Callus strangförmig auf der inneren Seite der ad axim verschobenen Bruchstücke auftrat. Experimentell ist dieses dann auch durch L e x e r und B ü r k l e d e - l a - C a m p begründet. Wird nämlich ein Röhrenknochen mit umhüllendem Periost gebogen, so entstehen, gleichwie im

Knochen an der konvexen Seite Zugspannungen, die bei Ueberschreiten der Festigkeitsgrenze des Periostes einen queren Einriß bewirken. Durch zirkuläre Zugspannungen erfolgt ein Längsriß des Periostes an der größten Verbreiterung. Die Längsdruckspannungen an der konkaven Seite bewirken nur eine Querfurchung an der Innenseite des Bogens, aber keinen Einriß. Diese an der konkaven Seite des Bogens erhalten gebliebenen Periostbrücken sind besonders befähigt, die Vereinigung der Bruchstücke durch Callusbildung zu bewerkstelligen, da die periostalen Gefäße innerhalb des Winkels weniger verletzt werden als auf der anderen Seite, wo das Periost über der Fraktur oder auch die Weichteile zerrissen sind. Infolgedessen kommt es bei der Heilung der typischen Stückfraktur häufig zur einseitigen periostalen Callusbildung. Periost und Knochen besitzen nach der Stückfraktur fast immer eine gute Regenerationskraft, da ja dieser typische Bruch meist nur bei gesunden Knochen von Erwachsenen vorkommt, während er bei Knochen von Kleinkindern, Greisen und bei krankhaft veränderten Knochen recht selten ist.

Durch die Dislocatio ad axim, die meist vorhanden ist, kommt es, da andere größere Dislokationen fast immer fehlen, selten zur Bildung einer Pseudarthrose.

Die Prognose einer typischen Stückfraktur quoad sanationem ist deshalb gut.

Literaturverzeichnis:

Bauer, Dr. med., K. H., Frakturen und Luxationen. Berlin, Verlag Julius Springer, 1927.

Bürkle de la Camp, Ueber das Verhalten der Knochenhaut beim Bruch des Röhrenknochens.
Deutsche Zeitschrift für Chirurgie, Bd. 203/4, 1927, S. 391.

Garrè-Borchard, Lehrbuch der Chirurgie. Verlag Vogel, Leipzig, 1928, S. 535.

Lexer, Dr. Erich, Lehrbuch der allgemeinen Chirurgie. Band II, S. 58.

derselbe, Ueber die Entstehung von Pseudarthrosen nach Frakturen und nach Knochentransplantationen.
Archiv für klinische Chrirurgie, 1922, S. 534—549.

Magnus, Prof. Dr. Georg, Frakturen und Luxationen. Berlin, Verlag Julius Springer, 1923, S. 2.

Martin, Experimentelle Pseudarthronsenbildung und die Bedeutung von periost und Mark.
Archiv für klinische Chirurgie 1920, S. 710.

L. Wullstein u. H. Küttner, Lehrbuch d. Chirurgie, 2. Band

Magnus und Guleke, Verletzungen der Knochen und Gelenke, S. 213.

Matti, Prof. Dr. Hermann, Die Knochenbrüche und ihre Behandlung. 1. Band, S. 36/37.

Zuppinger, Dr. med. Hermann, Allgemeine Lehre von den Knochenbrüchen.

Christen, Dr. med. et phil. Leipzig, Verlag Vogel, 1913, S. 19—21.

Lebenslauf.

Geboren bin ich zu Balve i. Westf. am 19. Juni 1908 als Sohn des Amtsobersekretärs Hermann Schulte und seiner Ehefrau Elisabeth geborene Schröder. Die Volksschule besuchte ich in meinem Geburtsorte, dann von 1919 ab das Gymnasium zu Warendorf, wo ich am 28. Februar 1928 die Reifeprüfung bestand. Vom Sommersemester 1928 ab studierte ich Medizin und besuchte nacheinander die Universitäten Innsbruck, Kiel und Münster. Am 2. August 1930 bestand ich in Münster die ärztliche Vorprüfung. Vom 15. September 1933 bis zum 4. Januar 1934 legte ich vor dem ärztlichen Prüfungsausschuß in Münster die ärztliche Prüfung ab. Als Medizinalpraktikant war ich tätig an der Hüfferstiftung auf der chirurgischen Abteilung unter Leitung von Dr. Fenner, dann auf der inneren Abteilung des Clemenshospitals unter Leitung von Professor Dr. Arneth und zur Zeit auf der chirurgisch-orthopädischen Abteilung der Hüfferstiftung unter Leitung von Chefarzt Dr. Becher.